

## 地震津波による大量土砂移動の可能性 — 安政東海沖地震津波における伊豆半島入間での場合 —

浅井大輔\*, 今村文彦\*, 高橋智幸\*\*, 首藤伸夫\*\*\*

### 1. はじめに

津波による被害については、最大波高や流速などに関連して人的・家屋被害を中心に研究が行われている(首藤, 1987)。しかし最近、津波による思わぬ災害の1つとして土砂移動についても着目されて研究されている(高橋, 1998)。最近の津波調査などでは、津波の来襲後に数十cm程度の堆積層が確認されその移動形態の特徴などが明らかにされ始めている。この中で局所的には土砂移動が1mを超える事例はあるが、規模としてそれほど大きい事例はなかった(今村ら, 1996; 1997)。

ところが、静岡県南伊豆町入間においては、1854年安政東海地震津波の際に、集落の中心部をほぼ埋め尽くす程の大量土砂が陸へ打ち上げられたことが伝わっている。しかも、都司・斉藤(1995)によれば、入間での最高津波高さは16.5mと推定されている。この値は周囲での結果と比べて飛び抜けて大きい値となっており、従来の数値計算による検討でも(静岡県, 1986)、この値の再現には成功していない。

そこで本研究は、1854年の安政東海地震を対象に伊豆半島の入間における大量の土砂移動の可能性と数値モデルによる再現を行う。まず、波源に必要な断層パラメータの再検討を行い、入間地区での津波痕跡記録を再現できるものとする。この波源を用いて、津波による移動床計算を実施するが、このモデルの

中には定式化されていないパラメータがあるために、1次元伝播問題において基礎検討を行った上で、現地の地形に適用する。

### 2. 安政東海地震津波と入間での堆積量

#### 2.1 地震と津波の概要

安政東海地震及びそれに伴う津波は、1854年12月23日(安政元年11月4日)に発生した。マグニチュードが8.4の大地震であり、震源は、北緯34度、東経137.8度と推定されている。この大地震の発生が津波を引き起こし、関東から四国の各地に大きな被害を及ぼした。特に、伊豆半島(図-1)での被害が大きく、南伊豆町入間(図-1)では13.2mあるいは16.5mの波高を持つ津波が来襲したとの報告がされている(静岡県, 1986)。入間での津波は、伊豆半島の周辺地域と比較して異常に大きく、津波のエネルギー集中や地形的効果等の局所的な要因が寄与していると考えられる。

#### 2.2 断層モデルの検討

安政東海地震において、2枚断層を仮想している石橋(1976)の断層モデルが現在では、もっと信頼性が高いとされている。しかし、この断層モデルを使用して津波数値計算を行うと今回対象としている伊豆半島の入間付近での波高が痕跡値よりも非常に小さく推定されてしまう。土砂移動は、波高が小さければ、その分土砂が運ばれる可能性も少なくなるため、まず、波源を見直して波高の検討から始める。

過去の研究において、相田(1981)は石橋モデル(1976)を基に、安政東海地震津波の

\* 東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター

\*\* 京都大学防災研究所巨大災害研究センター

\*\*\* 岩手県立大学総合政策学部

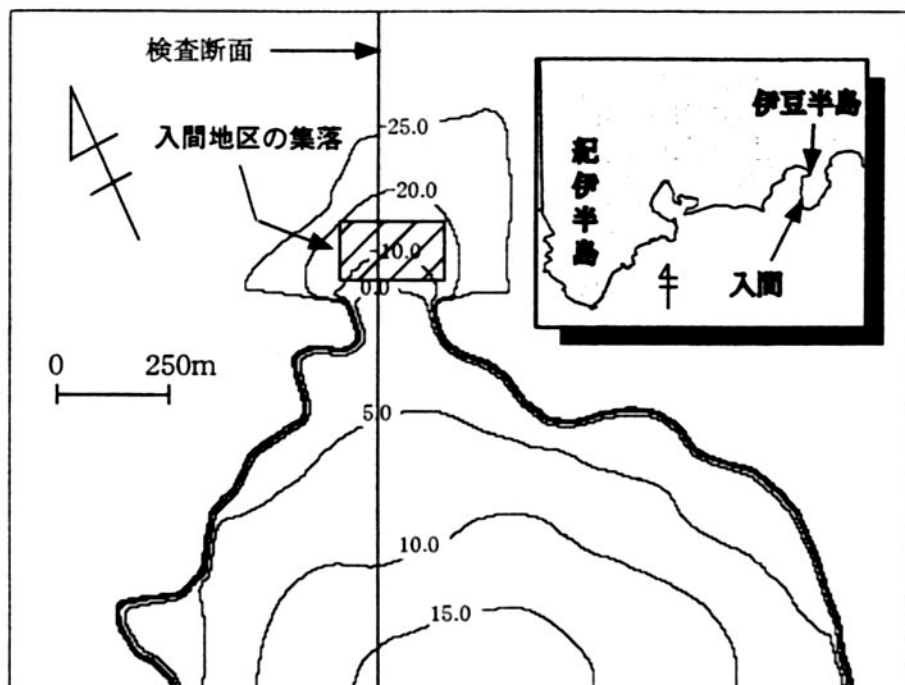


図-1 入間詳細地形図

再現計算を実施している。房総半島から紀伊半島にかけての広い沿岸各地における津波の状況はかなりよく再現されているが、詳細に見ると伊豆半島付近でばらつきがあり、最近の調査結果〔都司・斉藤, 1996〕を加えると、計算値は過小評価になる。そこで、改めて現在入手可能な痕跡データ〔静岡県, 1986〕を比較しながら石橋モデルの再検討を行う。

石橋 (1976) の断層パラメータを表-1に示す。これらのパラメータの中で静岡県 (特に伊豆半島) での津波分布にもっとも影響するのが断層の走行方向であるため、この値を変化させて、実測値と比較した。その際、以下の式で定義される Aida (1978) の指標 K

(平均値との誤差) と  $\kappa$  (データのばらつきの指標) を使って妥当性を調べた。その結果を図-2に載せる。

$$\log K = (1/n) \sum_{i=1}^n \log K_i$$

$$\log K = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log K_i)^2 - (\log K)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

ここで、 $K_i = x_i / y_i$   $x_i$ : 実測値  $y_i$ : 計算値  $n$ : 比較データ数

対象領域は、静岡県ほぼ全域であり線形長波理論を用いて解析した。この結果を見ると、石橋の断層パラメータである  $\theta = 198^\circ$  は、 $K$ 、 $\kappa$  ともに大きく、実測データとの一致があまり良くない。もっとも良好な K 値が  $\theta = 180^\circ$

表-1 断層パラメータ

N: 緯度, E: 経度, d: 断層の深さ,  $\theta$ : 断層の走向方向,  $\delta$ : 断層の傾き,  $\lambda$ : 食い違い方向, L: 断層長さ, W: 断層の幅, U: 食い違い量

	N(°N)	E(°E)	d(km)	$\theta$ (°)	$\delta$ (°)	$\lambda$ (°)	L(°km)	W(°km)	U(cm)
①	33.9	138.1	3	245	24	113	150	100	400
②	35.14	138.7	2	198	34	71	115	70	400

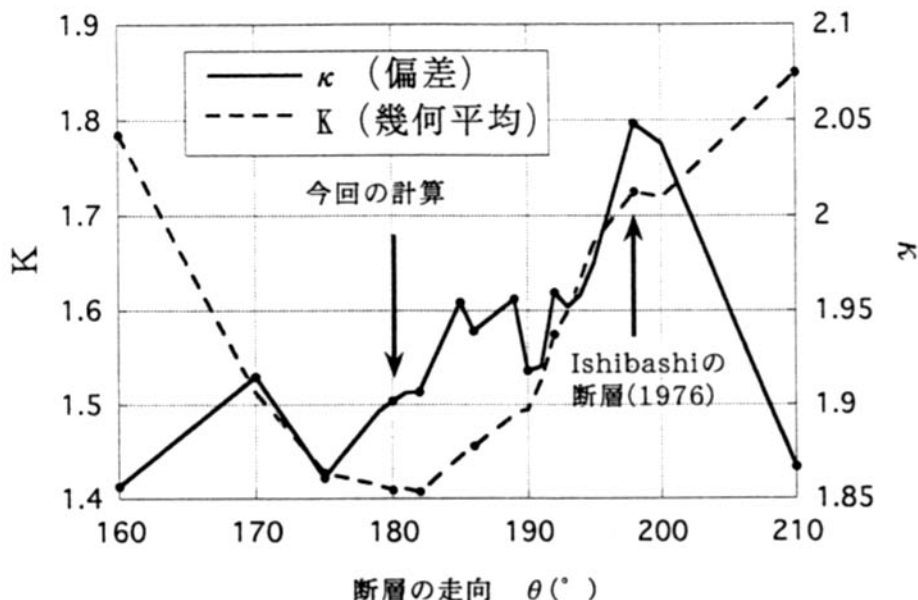


図-2 砂地盤の範囲 (図中斜線部)

の場合であった。この結果は、東側断層が、より伊豆半島側に位置することを示唆している。過去の計算例（静岡県，1986）では、伊豆半島において、数値計算による到達時間が実際に推定される値よりも遅いことも、指摘されている。 $\theta = 180^\circ$ のモデルは、この問題

についても解決できる。図-3には、本研究の提案するモデルと石橋モデル（1976）の比較を示している。本研究のモデルは、断層の短軸方向に伊豆半島の先端が位置しており、津波エネルギーが集中し易いことがわかる。

### 2.3 分割領域による数値解析

伊豆半島周辺の沿岸地形は複雑であるために、海岸に近づくに連れて細かい格子サイズになるように計算領域を分割した津波数値解析を実施し、入間付近に來襲する津波の規模の推定を行う。これらにより津波外力が大規模土砂移動を生じさせる可能性があるかどうかをある程度判断できる。数値解析では、既存の数値解析（相田，1981）で使用されたものよりさらに詳細な水深データを作成して利用した。この際、より詳細な計算を行うために、計算領域を4つ設定して、接続計算を行っている。第一段階として、入間湾に押し寄せてくる津波の波高を求めるために大中小の3領域を用いて線形計算を行い、入間での波高の時系列データを算出する。大領域は(1)式で Aida (1978) の係数を求めた領域であり、静岡県の全領域をカバーしている。中小

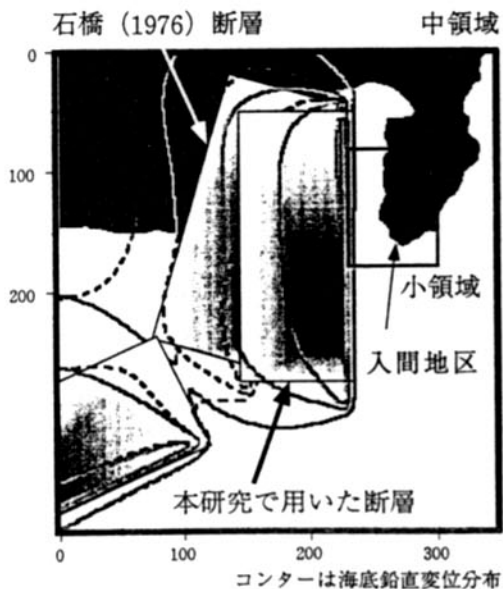


図-3 外岡家とビニールハウスを結ぶ断面図

の計算領域は図-3に示す。また、領域の空間格子を表-2に示す。結果の一例として、入間での波高の時系列を図-4に示しており、本モデルは石橋(1976)モデルに比較して、到達時間が早く、第一波及び最高波がかなり増加していることがわかる。

表-2 空間格子サイズと格子点数

	メッシュサイズ
大領域	1350m×1350m
中領域	450m×450m
小領域	150m×150m

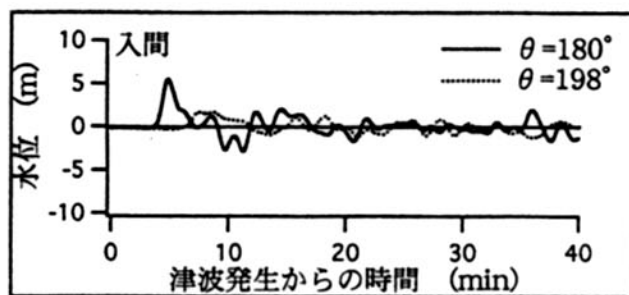


図-4 断層走向を変化させたときの数値モデルの再現性

#### 2.4 入間湾内における遡上計算

入間湾というのは、湾口がおよそ20m程度の小さな湾であるため津波の計算をする際に使用する接続計算をそのまま使用すると1メッシュ内に湾が入ってしまっていて局所的な変動を見ることができないため、図-4で得ら

れた入間での時系列データを入間湾の詳細な地形データの境界条件として与えて遡上計算を行い、入間での最大遡上高さを推定した。対象領域は図-1に示されており、入射波、入間湾口部、外岡家周辺において、津波の波形を調べた。図-5の結果を見ると入間で約

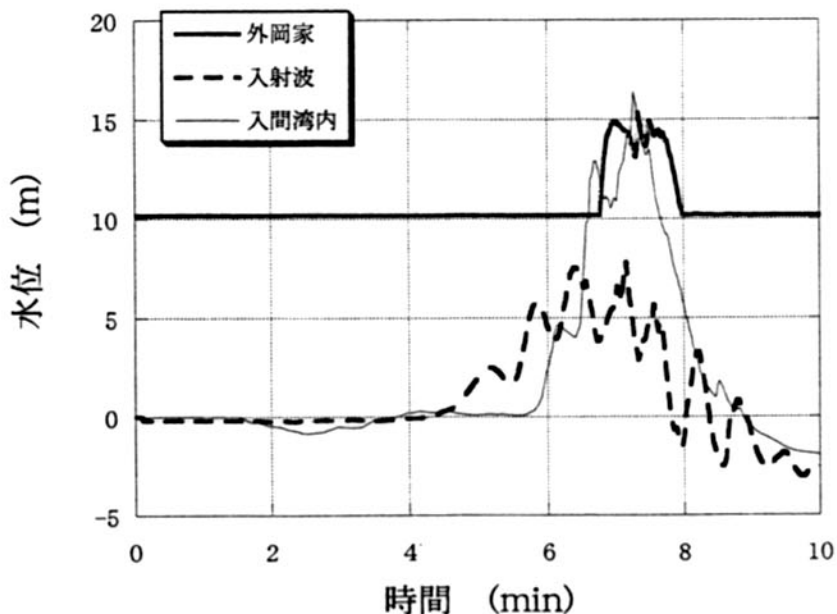


図-5 入間湾への入射津波の水位時系列

15mの波高が計算されており、都司・斉藤(1995)による16.5mの痕跡記録を十分説明できる結果となっている。入射波形と湾口での波形を比べて分かるように、波高が2倍程度となっており大きな増幅率であることがわかる。これは、図-1に示されているように、入間湾が湾口の狭く、切り立った地形であり、エネルギーが集中し安いことがわかる。

### 3. 入間地区での津波堆積量の推定

静岡県南伊豆町入間では、「加美家沿革誌」(萩原, 1958)の記述が地元の伝承と共に、1854年安政東海地震津波により大量の土砂が陸へ打ち上げられたと伝えている。現在集落が位置している場所は、津波襲来以前には地盤が低く、農地として使われていたようであるが、津波により大量の土砂が残され、現在の地盤高となったと言われている。図-6に示されているように現在の集落は、津波で堆積した海砂層の上に築かれているため、海岸付近で約10mの段差が見られる。

平成8年に行った現地調査には、集落内

で掘削を行い、そこでの砂が海砂であることが容易に判別できた。粒径が均一で丸みを帯びており、小さい貝片(数cm程度の白色)が多く含まれていたのである。また、昭和29年水道敷設工事の際には、道路下12尺のところから人骨が3体発見されており、4m以上の堆積の生じたことが伺われる。さらに「加美家沿革誌」の記述によると、大火災後の大正の宅地造成期に3,40人分の人骨も発見されている。なお、現地調査でも木材の焼けこげた痕跡があり、火災の事実を裏付けている。

入間での土砂堆積については、「加美家沿革誌」にも具体的な記述が見られる。「加美家沿革誌」は、入間の旧家である外岡家の歴史をつづった資料である。それによると、「鳥条並びに的場方面」(現在の集落の中心地と思われる)は、津波前は遥かに低くかつ平坦であったが、津波により「各所に土砂堆積し」、「凹凸起伏極まりなき地勢」となり、「これがために鳥条方面は全部免租無年貢地」となると記述されている。

以上のように、入間において土砂の堆積が起こった可能性は極めて高いが、津波来襲以

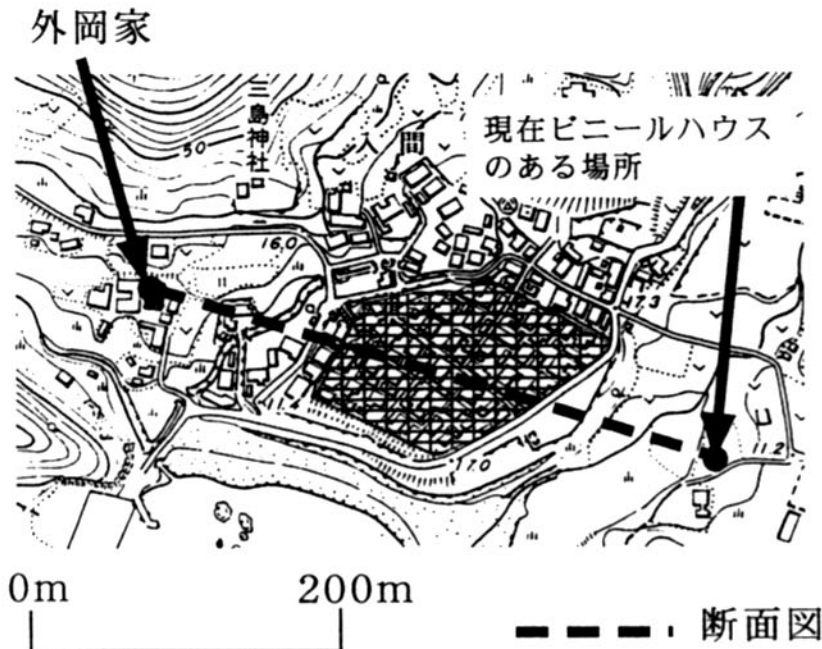


図-6 断層モデルの比較

前の地形が不明なため、その土砂量を正確に求めることはできない。しかしながら、地元の人々の証言から、土砂量の概算を見積もることができる。外岡氏によると、「津波以前には、現在の集落地の西方に位置する外岡家から、集落地の東方に位置するビニールハウス付近の畑を見渡すことができた。しかし、現在は集落に阻まれており、その畑を望むことはできない。」と証言している。したがって、図-6に示すように、外岡家とビニールハウス付近を結ぶ標高より高い地盤は、運搬堆積された土砂で生じた結果であると考えられる。これを調べるために、外岡家とビニールハウスを結ぶ断面図(図-7)を示すと、外岡家とビニールハウス付近の標高は、測量の結果それぞれ9.6mと11.2mと分かり、人間の目線の高さを考慮するとほぼ等しくなる。

さらに、堆積した容積を算出するためには、空間的な広がりが必要であるが、これは砂地盤の範囲から推定できた。砂地盤は海岸付近から始まり、海蔵禅寺に至る前の標高で突然終わっており、それ以上の標高では、岩石や

土の地盤が露出しているため、境界は明確であった。以上の土砂堆積の高さと範囲から、土砂量は約70万 $\text{m}^3$ と算定した。ただし、津波来襲以前の地盤は、今回仮定した高さ(外岡家とビニールハウスを結ぶ標高11.2m)より低かったはずであるから、実際に堆積した土砂量はさらに多かった可能性が大きい。また、現在の地形(図-7)は、大正時代の火災やその後の宅地造成などの影響を受けており、津波来襲当時のそのままではないことに留意が必要である。

#### 4. 移動床計算

伊豆半島の入間において安政東海地震の際に非常に大きな津波が来襲したことを説明できた。それに伴い、ここでの大量の土砂移動量の可能性が考えられるようになってきた。そこで、高橋(1998)、高橋ら(1992, 1993)による移動床計算を実施して、入間で推定された土砂移動量をどの程度再現できるか検討する。

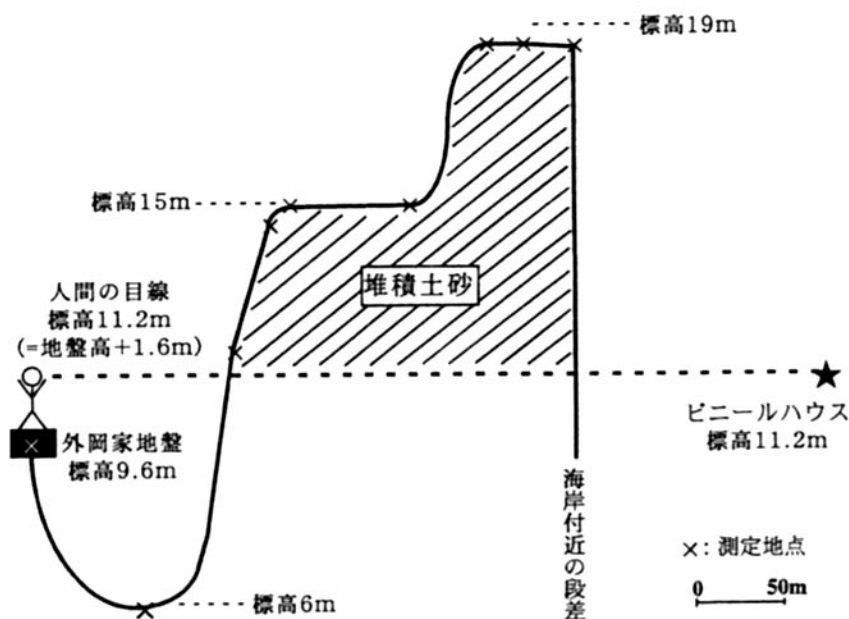


図-7 詳細計算による水位時系列

4.1 移動床混合砂モデル

図-8にあるように、流砂が生じている領域を掃流層と浮遊層に分離して考える。掃流層は砂が掃流状態で移動する層であり、掃流状態とは、砂が滑動や回転とを伴いながら、底面との接触を持ちつつ移動する状態を表す。また一方、浮遊層は砂が浮遊状態で移動する層であり、浮遊状態とは、流れの中の乱れによる鉛直成分が砂粒子に働く重力成分より大きくなるために、砂粒子が水中を流水とともに移動する状態を表す(吉川, 1985)。なお、これらの境界は砂の流動形態によって決まるものであり、明確な区分は現在のところ設けられていない。

図-8に示す微小区間(コントロールボリューム)における微小時間での流砂の出入りと内部の変化から質量保存を考える。まず、次式は、掃流層における流砂の連続の式である。

$$\frac{\partial Z_B}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left( \frac{\partial q_B}{\partial x} + \epsilon_z \frac{\partial C}{\partial z} - w_0 C + \frac{\partial \bar{C}_B h_B}{\partial t} \right) = 0 \quad (2)$$

ここで、 $\lambda$ : 砂粒子の空隙率、 $q_B$ : 掃流砂量、 $Z_B$ : 基準面からの底面の高さ、 $C_B$ : 平均掃流層濃度、 $h_B$ : 浮遊層厚、 $C$ : 層流層と浮遊層の境界付近の濃度

次に、浮遊層における連続の式は以下の式で表される。

$$\rho_s \frac{\partial \bar{C}_s M}{\partial x} \delta x \delta t + \rho_s \frac{\partial \bar{C}_s h_s}{\partial x} \delta t \delta x - \rho_s \epsilon_z \frac{\partial C}{\partial x} \delta x \delta t + \rho_s w_0 C \delta x \delta t = 0 \quad (3)$$

$C_s$ : 平均浮遊層濃度、 $M$ : 流量フラックス  
(2), (3)式において、交換砂量を導入して、準定常状態を仮定すると

$$\begin{cases} \frac{\partial Z_B}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left( \frac{\partial q_B}{\partial x} + w_{ex} \right) = 0 \\ \frac{\partial \bar{C}_s M}{\partial x} - w_{ex} + \frac{\partial \bar{C}_s h_s}{\partial t} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

が得られる。ここで、掃流土砂量と土砂巻き上げ量は以下の実験式から計算を行っている(高橋・浅井, 1998)。

$$q_s = 21.0 \tau_*^{3/2} \quad (5)$$

$$\epsilon_z \frac{\partial C}{\partial z} = 0.012 \tau_*^2 \times (sgd)^{1/2} \quad (6)$$

この実験式は、静水状態(水中の土砂量がゼロ)であるところからの土砂移動量を求めている。しかし、津波の計算において一度波が発生した後は、水中の土砂濃度は常に存在しているはずである。そのような状態にあるときは、静水状態にある時と比較して、土砂

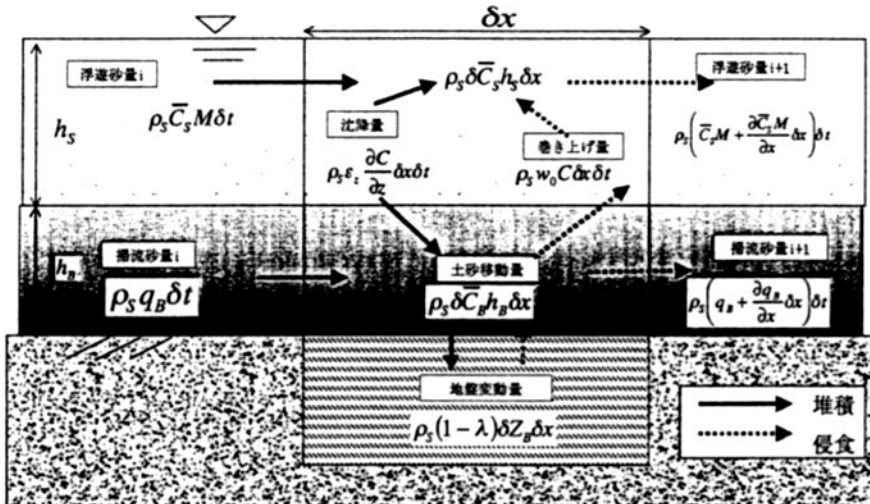


図-8 混合砂モデルの概念図

の巻き上げは起こりにくくなるはずである。そこで、今回は、ある一定の土砂濃度に達したときそれ以上水中に土砂を取り込まないようにする値を設け、それを最大土砂濃度と定義する。一般に、最大濃度を超えるような土砂巻き上げ量が起こったり、濃度が負になるような土砂沈降量が生じたりする可能性がある。そこで、土砂最大濃度を超えるような巻き上げ量が考えられる時

$$(C_{MAX}-C) \times \frac{DZ}{Dt} < w_{ex} \quad (7)$$

$C_{MAX}$ : 土砂最大濃度,  $DZ$ : 全水深,  $Dt$ : 時間ステップ

が成立する。上式の左辺は、水中に取り込むことの出来る土砂量を示している。そこで、

$$w_{ex} = DZ \times (C_{MAX} - C) / Dt \quad (8)$$

として、巻き上げ量をカットする。以上のように  $C_{MAX}$  を導入すれば現実的な巻き上げと沈降が表現できるはずである。ただし、 $C_{MAX}$  の具体的な数値は、砂の粒径や分布さらに流れの乱流状態により変化すると思われ、簡単に設定することはできない。

さらに、移動床計算の安定のためには、局所的な底面の勾配は、流砂量に影響を与える

ことが知られている。すなわち、砂は斜面の下側には動きやすく上側には動きにくい。その効果は、渡辺ら (1984) により拡散項を含んだ砂の連続式に含まれている。拡散係数  $\epsilon_s$  は、田中ら (1989) にならい、2.0 を採用した。この式は、結果的に計算を安定化させる拡散項を含むことになる。

#### 4.2 一様勾配斜面における解析

移動床における計算モデルの中のいくつかのパラメータが未知であるため、前述の仮定より作られた計算モデルを一様勾配斜面において単純な  $\sin$  波を強制入力することで計算を行い、パラメータの応答解析を行う。図-9 に示す地形で空間格子1.5m、時間格子0.01s で計算を行った。沖合いからの入射条件としては、波高5m、周期10分の  $\sin$  波を与えている。地形勾配は津波来襲前の入間地区での平均値を用いている。本モデルは、土砂の移動量を浮遊砂と掃流砂に分けて求めて計算を行っており、この中で使用されている重要なパラメータとして流体中(海水中)の最大土砂濃度 ( $C_{MAX}$ ) や巻き上げに関する鉛直拡散係数 ( $\epsilon_s$ ) がある。拡散係数に関しては、浅

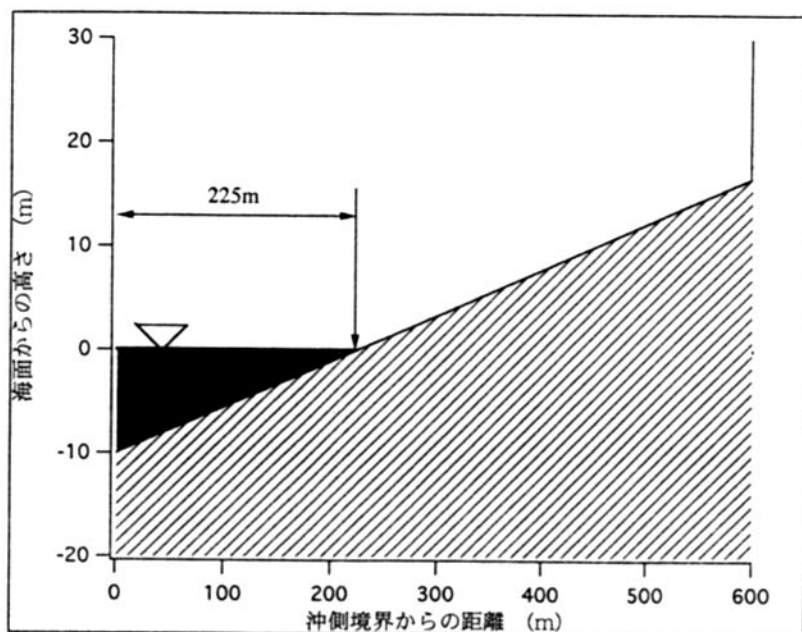


図-9 一様勾配斜面



井・高橋（1998）による実験結果を引用することもでき、また、応答解析の結果でも範囲（0.001～0.2）では、海底の変化は小さいことがわかった。

一方、最大土砂濃度（ $C_{MAX}$ ）による堆積量の違いは大きいことが判明した。 $C_{MAX}$ を変化させたときのsin波を入射してから1分後の1ステップにおける地盤変動量の図を図-10に載せる。これを見ると $C_{MAX}$ が大きくなるにつれて地盤変動量の変化が大きくなっている。 $C_{MAX}$ 値により大きく堆積量が場所的に異なり、最終地形にも大きく影響を及ぼすことが分かった。これは、海水中に存在し得る土砂濃度（ $C_{MAX}$ ）が大きいほど浮遊砂量が増大し、一旦巻き上げられた土砂が流れにより移動し易くなり、特に陸上部への堆積に寄与することが判明した。この $C_{MAX}$ 値は、土砂の沈降と土砂を浮遊させる能力（乱流）に大きく関係していると考えられ、これに関する研究〔辻本（1998）〕はあるが室内実験に留まっているために、本ケースのような実際の現場で、しかもシールズ数がかかなり大きいと思われる状況に適用することはできない。そのために、 $C_{MAX}$ 値は固定せず変化させて、入間湾での移動床計算を実施することとする。

#### 4.3 実領域における数値解析

入間湾内において固定床での入射波条件を用いて、入間での移動床計算を実施した。図-9にあるように第一波（最大波）が遡上し、

それが海域に戻るまでの時点（8分）までの地形変化を検討する。これ以降の津波成分は小さいために、陸上部での堆積砂はほぼこの状態で残ったものと考えられる。8分後の地盤高さを図-11、12に示す。まず、全体的に海域で侵食傾向、陸側で堆積傾向であることが分かる。これは、押し波で入射した津波が、湾口の狭いしかも両側の切り立った入間湾に入ると、急縮の効果により流速値を増加させ、そこでの巻き上げ量を大きくして、陸上に運んだものと思われる。入間湾の地形は、今回の大規模堆積の原因の1つである。一方、 $C_{MAX}$ 値の変化により地形が大きく変化していることも事実である。ただし、陸上部での堆積状態はほぼ同じである。現地調査で得られた70万 $m^3$ 付近の堆積量を再現できたのは、0.3の時であった。従って、この程度の最大土砂濃度を仮定すれば大規模土砂移動をある程度再現できることがわかった。ただし、これは、地形や入射条件により変わるべきもので、一定の値ではないことに注意しなければならない。現在までの研究において、通常の河川流等の流れにおいては、0.05付近の値が求められているが（池野ら、1998）、津波のような非常に乱れの強い流れには適用できず、0.05以上の最大土砂濃度が考えられる。

また、堆積状況を見ると、実際は入間地区の中心部で大きく膨らんだ状態であるが、数値モデルにより再現された状態は、ほぼ同様であった。さらに検討の必要があろう。

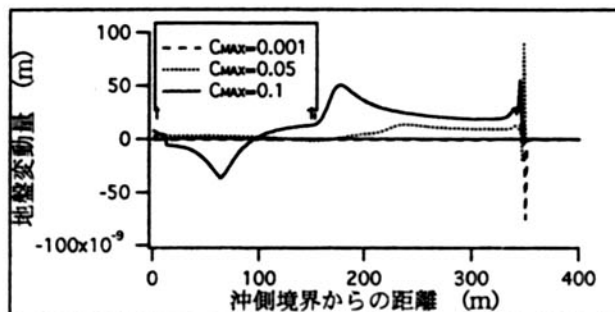


図-10 1時間ステップでの最大濃度別における地盤変動量

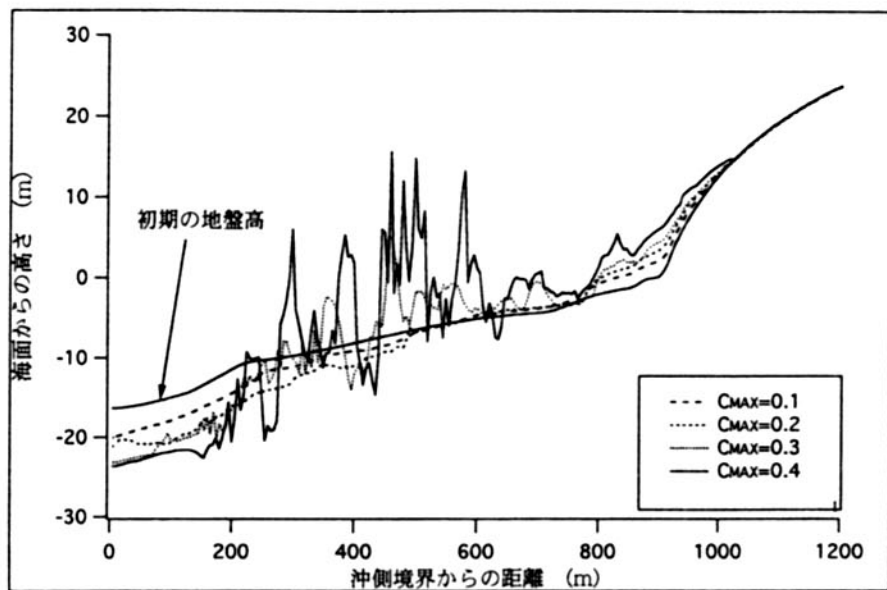


図-11 地震発生8分後における地盤高 (縦断面)

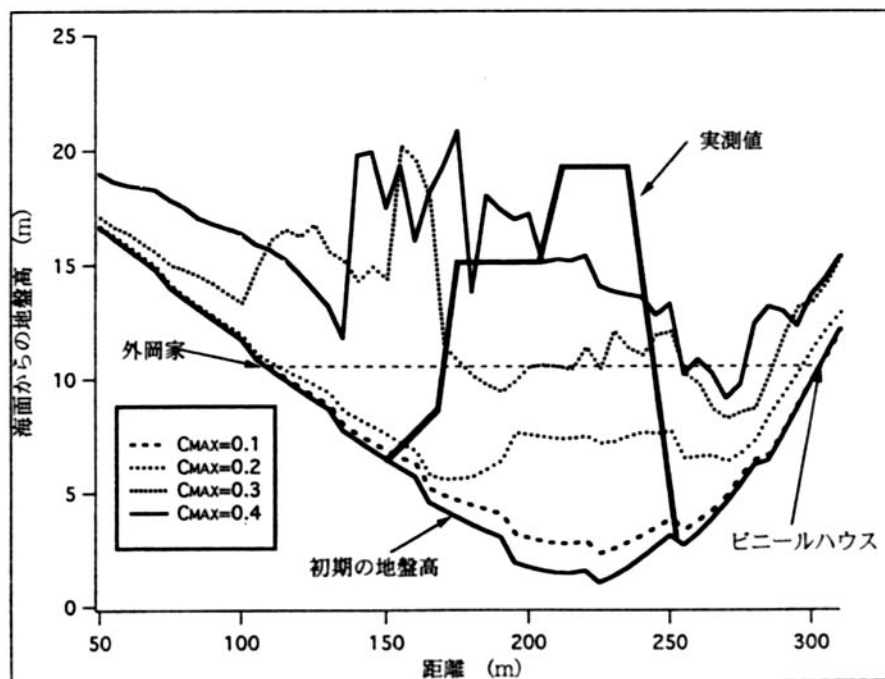


図-12 地震発生8分後における地盤高 (横断面)

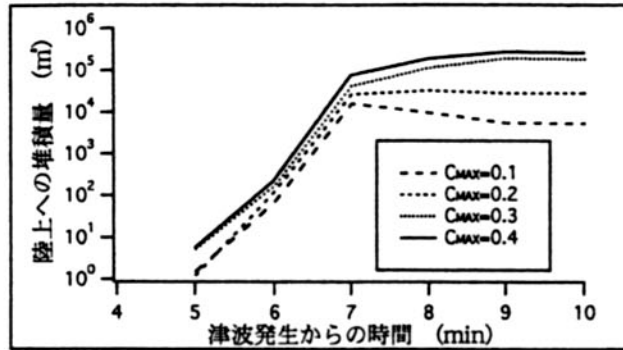


図-13 陸上への堆積量推移

## 5. 結論

本研究によって、安政東海地震津波の際に伊豆半島入間で70万 $\text{m}^3$ という土砂量が堆積したことを現地の実測調査と過去の文献収集によって推定した。また、現在までに安政東海地震津波の計算に使用されていた石橋(1976)の断層パラメータの改良も行った。過去の研究において、この地震における入間での最大波高は、現地の推定では16.5mまたは13.2mと言われており、周辺の場所に比較して非常に突出していた。これについても入間での詳細な地形データを導入することにより約15mという波高を再現できた。

次に、津波に対する移動床計算を導入し、その結果、20万 $\text{m}^3$ という堆積量を算出した。この結果は、土砂移動の観点からみて(オーダーが同じである)良好な結果であると考えられる。今回用いた入間での地形図は地震の直前のものでなく、現在の地形データを元に、堆積部分を除いて作成した。従って、津波来襲から現在に至る間で形状が変化している可能性があるために、ここでは、計算値との詳細な比較は避けている。しかし、以上の計算より、少なくとも土砂が大量に堆積する可能性があることを示すことができたと思われる。

今回入間の計算では、計算に使用される最大濃度を変化させることで堆積量が変化してしまうため、この値を正しく求めることが必

要とされる。実際、津波以外における場合は定量的に評価されているが、津波は非常に乱れ成分が大きく河川流や潮汐といった状況とは流動特性が大きく異なると思われるため津波における最大濃度における研究が必要になると考えられる。

## 参考文献

- 相田 勇 (1981) : 東海道沖におこった歴史津波の数値計算, 地震研究所彙報, Vol.56, pp. 367-390.
- 浅井大輔 (1997) : 津波を想定した大掃流力に適用する流砂量公式, 東北大学卒業論文.
- 浅井大輔・今村文彦・首藤伸夫・高橋智幸 (1998) : 伊豆半島入間における安政東海地震津波の波高と土砂移動, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 371-375.
- 池野正明・清水隆夫・久保道仁・定森良夫 (1998) : 波の多方向不規則性と浮遊漂砂を考慮した3次元海浜変形数値予測モデルの開発と検証, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 531-535.
- 石橋克彦 (1976) : 東海地方に予想される大地震の再検討-駿河湾大地震について-, 地震学会講演予行集, No 2, pp. 30-34.
- 今村文彦・箕浦幸治・高橋智幸・首藤伸夫 (1996) : 1992年フローレス島地震津波による堆積作用に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 686-690.

- 今村文彦・高橋智幸・箕浦幸治・首藤伸夫 (1997) : エーゲ海における歴史津波堆積物に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 321-325.
- 吉川秀夫 (1985) : 流砂の水理学, 丸善, pp. 113-154.
- 静岡県地震対策課 (1986) : 安政東海地震津波被害調査報告書, 86p.
- 高橋智幸 (1998) : 津波による土砂移動に関する研究, 東北大学博士論文.
- 高橋智幸・今村文彦・首藤伸夫 (1992) : 土砂移動を伴う津波計算法の開発, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 231-235.
- 高橋智幸・今村文彦・首藤伸夫 (1993) : 津波移動モデルの適用性と再現性の検討, 海岸工学論文集 第40巻, pp. 171-175.
- 田中 仁・吉竹豊尚・首藤伸夫 (1989) : 浪・流れ共存場における低質分級の数値計算, 海岸工学論文集 第36巻, pp. 264-268.
- 都司嘉宣・齊藤 晃 (1995) : 静岡県沿岸の安政東海地震津波, 今だから知りたい東海地震, 静岡新聞, pp. 8-13.
- 辻本剛三 (1998) : 浮遊砂濃度フラックスによる2次元海浜の地形変化に関する研究, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 496-500.
- 萩原直七 (1958) : 加美家沿革誌, 132p.
- 首藤伸夫 (1987) : 津波災害の変遷, 東北大学工学部津波防災実験所研究報告, 第4号, pp. 1-41.
- 渡辺 晃・丸山康樹・清水隆夫・榊山 勉 (1984) : 構造物設置に伴う三次元海浜変形の数値予測モデル, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 406-410.
- Aida, I. (1978) : Reliability of a tsunami source model derived from fault parameters, J. Phys. Earth, No.26, pp.57-73.

## 津波関係論文・レポート 1995—1998

(掲載として、年次毎に和文論文報告を五十音順、次に英文論文報告をアルファベット順に並べている)

(1995)

- 今村文彦・高橋智幸：1994ジャワ東部地震津波の調査，自然災害科学，Vol. 14, No.3, pp. 213—218.
- 河田恵昭：危機管理による津波防災と緊急対応組織論，海岸工学論文集，第42巻，pp. 1241—1245, 1995.
- 気象庁：北海道南西沖地震調査報告—災害時自然現象報告書—，気象庁技術報告，117, 1—281.
- 首藤伸夫・松富英夫・堺茂樹・佐々木幹夫：1994年北海道東方沖地震津波と防災上の問題点，海岸工学論文集，第42巻，pp. 1246—1250.
- 都司嘉宣：津波現象に現れた流体力学的諸問題，日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集，95, 19, pp. 1—5.
- 都司嘉宣：島原大変（1792）の津波による熊本県側の報告，「古地震を探る」（太田陽子，島崎邦彦編），古今書院，pp. 81—106.
- 都司嘉宣・荒井賢一：1995，北海道東方沖地震の津波，月刊地球，17, 5, 338—349.
- 都司嘉宣・上田和枝・荒井賢一：須崎市を襲った歴史津波，歴史地震，10, pp. 95—116.
- 都司嘉宣・荒井賢一・加藤健二：津波および津波被害，「1993年北海道南西沖地震災害調査報告」，第4章，日本建築学会，318—334.
- 都司嘉宣：歴史津波の教訓，「自然災害と地域社会の防災・安全な社会生活を守るために」，第9回「大学と科学」公開シンポジウム組織委員会編，クバプロ，pp. 28—41.
- 藤間功司・後藤智明・林建二郎・重村利幸・首藤伸夫：伊豆・小笠原諸島の津波増幅特性，海岸工学論文集，第42巻，pp. 381—385.
- 松富英夫・今村文彦・都司嘉宣・韓世燮・G. S. Prasetya：1994年東ジャワ地震津波の現地調査，海岸工学論文集，第42巻，土木学会，pp. 346—350.
- Fujima, K., D. Yuliadi, C. Goto, K. Hayashi and T. Shigemura: Characteristics of Long Waves Trapped by Conical Island, Coastal Engineering in Japan, Vol.38, No.2, pp.111—132.
- Gonzalez, F. I., K. Satake, E. F. Boss and H. O. Mofjeld: Edge wave and non-trapped modes of the 25 April 1992 Cape Mendocino tsunami. Pure and Applied Geophysics (also a book "Tsunamis: 1992—94"), 144, pp.409—426.
- Gonzalez, F. I., E. N. Bernard and K. Satake: The Cape Mendocino tsunami, 25 April 1992. Y. Tsuchiya and N. Shuto (eds.), Tsunami: Progress in Prediction, Disaster Prevention and Warning, Kluwer Academic Publishers, pp. 151—158.
- Hidayat, D., J. S. Barker and K. Satake: Modeling the seismic source and tsunami generation of the December 12, Flores Island, Indonesia, earthquake. Pure and Applied Geophysics (also a book "Tsunamis: 1992—94"), 144, pp. 537—554.
- Imamura, F., E. Gica, To. Takahashi and N. Shuto: Numerical simulation of the 1992 Flores tsunami: interpretation of tsunami phenomena in northeastern Flores Island and damage at Babi Island, Topical issue of Tsunami 1992—94, Pure and Applied

- Geophysics, Vol.144, No.3/4, pp.555-568.
- Imamura, F., C. E. Synolakis, E. Gica, V. Titov, E. Listanco and H. J. Lee : Field survey of the 1994 Mindoro Island, Philippines tsunami, Topical issue of Tsunami 1992-94, Pure and Applied Geophysics, Vol.144, No.3/4, pp.875-890.
- Imamura, F., T. Takahashi, N. Shuto : Numerical simulation of the 1992 Flores tsunami in Indonesia : Discussion on large runup heights in the northeastern Flores Island, Proc. of 24th Coastal Eng. 1994, Vol.1, pp.821-831.
- Imamura, F. and M. M. A. Imteaz : Long waves in two-layers : Governing equations and numerical model, Journal of Science of Tsunami Hazards, Vol.13, No.1, pp.3-24.
- Johnson, J. M., Y. Tanioka, K. Satake and L. J. Ruff : Two 1993 Kamchatka earthquakes. Pure and Applied Geophysics (also a book "Tsunamis : 1992-94"), 144, pp.633-647.
- Johnson, J. M. and K. Satake : Source parameters of the 1957 Aleutian and 1938 Alaskan earthquakes from tsunami waveforms. Y. Tsuchiya and N. Shuto (eds.), Tsunami : Progress in Prediction, Disaster Prevention and Warning, Kluwer Academic Publishers pp.71-84.
- Kawata, Y., Y. Tsuji, A. R. Syamsudin, Sunarjo, M. Matsuyama, H. Matsutomi, F. Imamura and T. Takahashi : Response of residents at the moment of tsunamis -The 1992 Flores Island earthquake tsunami, Indonesia -, Tsunamis : Progress in Prediction, Disaster Prevention and Warning, Kluwer Academic Publishers, pp.173-186.
- Nomanbhoy, N. and K. Satake : Generation mechanism of tsunamis from the 1883 Krakatau eruption. Geophys. Res. Lett., 22, pp.509-512.
- Okada, M., : Tsunami observation by ocean bottom pressure gauge, Tsunami : Progress in prediction, disaster prevention and warning, pp.287-303.
- Satake, K. and F. Imamura : Tsunamis : Seismological and disaster prevention studies, J. Phys. Earth., Vol.43, pp.259-277.
- Satake, K. and Y. Tanioka, : Tsunami generation of the 1993 Hokkaido Nansei-oki earthquake. Pure and Applied Geophysics (also a book "Tsunamis : 1992-94"), 144, pp.803-821.
- Satake, K., Linear and non-linear computations of the 1992 Nicaragua earthquake tsunami. Pure and Applied Geophysics (also a book "Tsunamis : 1992-94"), pp.144, pp.455-470.
- Shuto, N. : Tsunami, Cisasters and Defence Works in Case of The 1993 Hokkaido-Oki Earthquake Tsunami, Advances in Natural and Technological Hazard Research, Kluwer Academic Publishers, Vol.4, pp.263-276.
- Shuto, N. and H. Matsutomi : Field Survey of the 1993 Hokkaido Nansei-Oki Earthquake Tsunami, Pure and Applied Geophysics, Vol.144, Nos.3/4, pp.649-663.
- Shuto, N., K. Chida and F. Imamura : Generation mechanism of the 1983 Nihonkai-chubu earthquake tsunami, Tsunamis : Progress in Prediction, Disaster Prevention and Warning, Kluwer Academic Publishers, pp.37-54.
- Synolakis, C, F. Imamura, Y. Tsuji, H. Matsutomi, S. Tinti, B. Cook, Y. P. Chandra, and M. Usman: Damage, conditions of East Java Tsunami of 1994 analyzed, EOS, Transactions, AGU, Vol.76, No.26, p.257 and pp.261-262.
- Takahashi, To., Ta. Takahashi. N. Shuto, F. Imamura, and M. Ortiz : Source models of

- the 1993 Hokkaido Nansei-Oki earthquake tsunami, Topical issue of Tsunami 1992-94, Pure and Applied Geophysics, Vol.144, No.3/4, pp.747-767.
- Takahashi, T., N. Shuto, F. Imamura and H. Matsutomi: The measured and computed Hokkaido Nansei-oki earthquake Tsunami of 1993, Proc. of 24th Coastal Eng. 1994, Vol.1, pp.886-900.
- Tanioka, Y., K. Satake and L. Ruff: Analysis of seismological and tsunami data from the 1993 Guam earthquake. Pure and Applied Geophysics (also a book "Tsunamis: 1992-94"), 144, pp.823-837.
- Tanioka, Y., L. Ruff, and K. Satake: The great Kuril earthquake of October 4, 1994 tore the slab, Geophys. Res. Lett., 22, pp.1661-1664.
- Tanioka, Y., K. Satake, and L. Ruff: Total analysis of the 1993 Hokkaido Nansei-oki earthquake using seismic wave, tsunami and geodetic data. Geophys. Res. Lett., pp.22, 9-12.
- Tsuji, Y., H. Matsutomi, F. Imamura, M. Takeo, Y. Kawata, M. Matsuyama, To. Takahashi, Sunarjo and P. Harjadi: Damage of coastal villages due to the 1992 Flores Island earthquake tsunami, Topical issue of Tsunami 1992-94, Pure and Applied Geophysics, Vol.144, No.3/4, pp.481-524.
- Tsuji, Y., F. Imamura, H. Matsutomi, C. E. Synolakis, P. T. Nanang, Jumadi, S. Harada, S. S. Han, K. Arai and B. Cook: Field survey of the east Java earthquake and tsunami of June 3, 1994, Topical issue of Tsunami 1992-94, Pure and Applied Geophysics, Vol.144, No.3/4, pp.839-854.
- Yalciner, A. C., U. Kuran, A. Akyarli and F. Imamura: An investigation of the propagation of tsunamis in the Aegean sea by mathematical modeling, Tsunamis: Progress in Prediction, disaster prevention and warning, Kluwer Academic Publishers, pp.55-84.

(1996)

- 池野正明・松山昌史: 津波作用下における浮体構造物の非線形挙動解析, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 951-955.
- 今村文彦: フィリピン・ミンドロ島地震津波の現地調査, 自然災害科学, Vol.15, No. 1, pp.3-10.
- 今村文彦・箕浦幸治・高橋智幸・首藤伸夫: 1992年フローレス島地震津波による堆積作用に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第43巻, pp.686-690.
- 今村文彦: 津波の数値シミュレーションと可視化技術, ながれ (日本流体力学会誌), Vol.15, pp.376-383.
- 河田恵昭・小池信昭: 津波の伝播・氾濫特性に基づくハザードマップに関する研究, 海岸工学論文集, 第43巻, pp.1301-1305, 1996.
- 倉吉一盛・今村文彦・高橋智幸・松富英夫・Subandono Dipoasaptono・首藤伸夫: 1996年2月17日 Irian Jaya 地震津波の現地調査, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 1306-1310.
- 越村俊一・今村文彦・高橋智幸・首藤伸夫: 境界波としての津波の挙動特性とその数値解析, 海岸工学論文集, 第43巻, pp.276-280.
- 谷岡勇市郎・佐竹健治: 津波地震はどこで起こるか, 科学, 66, pp.574-581
- 都司嘉宣: 相模湾の津波, 水産海洋研究, 60, 2, pp.178-195.

- 都司嘉宣：慶長16年(1611)，延宝5年(1677)，宝暦12年(1763)，寛政5年(1793)，及び安政3年(1856)の各三陸地震津波の検証，歴史地震，11，pp.75-106
- 日野貴之・都司嘉宣：プレート境界面を考慮した東南海地震(1944)の断層モデルと津波の数値シミュレーション，地震2，49，pp.27-38
- 正村憲史・藤間功司・林建二郎・重村利幸・後藤智明：非静水圧3次元津波数値計算モデルの開発，海岸工学論文集，第43，pp.296-300.
- 松富英夫・今村文彦・高橋智幸・倉吉一盛・小舟浩治・G. Watson・H. Rahman・首藤伸夫：1996年イリアンジャヤ地震津波とその被害，海岸工学論文集，第43巻，土木学会，pp.311-315.
- 松富英夫・池田弘樹：大規模実験に基づく流木衝突力の評価法，海岸工学論文集，第43巻，土木学会，pp.781-785.
- 松山昌史・田中寛好：海底地盤の隆起と沈降にともなう水面応答とその特性について，海岸工学論文集，第43巻，pp.281-285.
- 松山昌史：津波発生における地盤水面応答特性-基礎的実験と数値シミュレーション-，電中研報告書，U96019，p.30.
- Fujima, K.: Application of Linear Theory to the Computation of Runup of Solitary Wave on a Conical Island, Long Wave Runup Models, pp.221-230.
- Imamura, F. and E. C. Gica: Numerical model for wave generation due to subaqueous landslide along a coast - A case of the 1992 Flores tsunami, Indonesia -, Journal of Science of Tsunami Hazards, Vol.14, No.1, pp.13-28.
- Imamura, F.: Review of tsunami simulation with a finite difference method, Long-wave Runup Models edited by H. Yeh, P. Liu and C. Synolakis, World Scientific (ISBN981-02-2909-7), pp.25-42.
- Imamura, F.: Simulation of wave-packet propagation along sloping beach by TUNAMI-code, Long-wave Runup models edited by H. Yeh, P. Liu and C. Synolakis, World Scientific (ISBN981-02-2909-7), pp.231-241.
- Johnson, M. J., and K. Satake: The 1965 Rat Islands earthquake: a critical comparison of seismic and tsunami wave inversions, Bull. Seism. Soc. Am., 86, pp.1229-1237.
- Johnson, J. M., K. Satake, S. R. Holdahl, J. Sauber, : The 1964 Prince William Sound earthquake: Joint inversion of tsunami and geodetic data, J. Geophys. Res., 101, pp.523-532.
- Kato, K. and Y. Tsuji: Tsunami of the Sumba Earthquake of August 19, 1977, J. Natural Disaster Sci., 17, 2, pp.87-100.
- Masamura, K. and K. Fujima: Three-Dimensional Analysis of Long Wave Runup on a Conical Island by Using the MAC Method, Long Wave Runup Models, pp.321-331.
- Satake, K., K. Shimazaki, Y. Tsuji, K. Ueda: Time and size of a giant earthquake in Cascadia inferred from Japanese tsunami records of January 1700, Nature, 379, pp.246-249.
- Tanioka, Y. and K. Satake: Fault parameters of the 1896 Sanriku tsunami earthquake estimated from tsunami numerical modeling, Geophys. Res. Lett., 23, pp.1549-1522.
- Tanioka, Y., L. Ruff and K. Satake: The Sanriku-oki, Japan, earthquake of December 28, 1994 (Mw 7.7): Rupture of a different asperity from a previous earthquake, Geophys. Res. Lett., 23, pp.1465-1468.



Tanioka, Y. and K. Satake: Tsunami generation by horizontal displacement of ocean bottom, *Geophys. Res. Lett.*, 23, pp.861-864.

(1997)

青木克彦・今村文彦・首藤伸夫：紀元前1400年サントリーニ島火山性津波の再現計算，海岸工学論文集，第44巻， pp.326-330.

今村文彦：津波監視システムの現状と広域ネットワークの提案，自然災害科学，Vol.16, No. 2, pp.143-151.

今村文彦・高橋智幸・箕浦幸治・首藤伸夫：エーゲ海における歴史津波堆積物に関する現地調査，海岸工学論文集，第44巻， pp.321-325.

今村文彦：沿岸防災の行方，沿岸域（日本沿岸域学会雑誌），Vol.10, No. 1, pp.55-57.

河田恵昭・小池信昭：重ね合わせの原理に基づく津波数値解析方法，海岸工学論文集，第44巻， pp.271-275.

河田恵昭・小池信昭・井上雅夫・嘉戸重仁：環太平洋沿岸域における津波リスクに関する研究，海岸工学論文集，第44巻， pp.341-345.

越村俊一・今村文彦・首藤伸夫：海嶺により励起される境界波に関する研究，海岸工学論文集，第44巻， pp.306-310.

佐竹健治：ハワイの津波堆積物，地質ニュース，518, pp.21-28.

佐竹健治：日本の古文書で証明された米国先住民伝承の巨大地震，SCIA S, 11月21日号， pp.76-77.

佐竹健治・谷岡勇市郎：1995年奄美大島近海地震の断層パラメーターと津波の発生，地学雑誌，106, pp.546-556.

郡司嘉宣：1995年奄美大島近海地震による地震および津波被害について，地学雑誌，106, 4, pp.486-502

藤本浩介・今村文彦：K/T-Impactによる津波の発生，海岸工学論文集，第44巻， pp.315-319.

松山昌史・田中寛好：海底地盤変動による水面応答とその伝播に関する実験的研究，海岸工学論文集，第44巻， pp.301-305.

箕浦幸治・今村文彦・高橋智幸・首藤伸夫：地中海文明と津波，pp.574-581, 最近地質時代の地球環境，月刊地球，vol.19., No. 9. (No.219), 9月号.

米山望・松山昌史：自由液面解析コード（FRESH-FV）を用いた津波遡上解析，海岸工学論文集，第44巻， pp.266-270.

李昊俊・今村文彦・首藤伸夫：屈折現象に注目した津波数値計算の精度，海岸工学論文集，第44巻， pp.276-280.

李昊俊・今村文彦・首藤伸夫：日本海での津波の挙動特性，海岸工学論文集，第44巻， pp.281-285.

Imamura, F., D. Subandono, G. Watson, A. Moore, T. Takahashi, H. Matsutomi and R. Hidayat: Irian Jaya Earthquake and Tsunami causes serious damage, *EOS, Transactions, AGU*, Vol.78, No.19, p.197 and pp.201.

Johnson, M. J., and K. Satake: Asperity distribution of Alaskan-Aleutian earthquakes: implications for seismic and tsunami hazards, in G. Hebenstreit (ed.), *Perspectives on Tsunami Hazard Reduction-Observations, Theory, and Planning*, Kluwer Academic Publishers, pp.67-81.

- Johnson, M. J., and K. Satake: Estimation of seismic moment and slip distribution of the 1 April 1946 Aleutian tsunami earthquake, *J. Geophys. Res.*, 102, pp.11765-11774.
- Minoura, K., F. Imamura, T. Takahashi and N. Shuto: Sequence of sedimentation processes caused by the 1992 Flores tsunami: evidence from Babi island, *Geology*, Vol.25, No.6, pp.523-526.
- Satake, K. and Y. Tanioka: Inverse and forward modeling of the 1993 Hokkaido tsunami, in G. Hebenstreit (ed.), *Perspectives on Tsunami Hazard Reduction-Observations, Theory, and Planning*, Kluwer Academic Publishers, pp.99-113.
- Shuto, N: A Natural Warning of Tsunami Arrival, *Advances in Natural and Technological Hazard Research*, Kluwer Academic Publishers, Vol.9, pp.157-173.
- Tanioka, Y., L. Ruff and K. Satake: What controls the lateral variation of large earthquake occurrence along the Japan Trench? *The Island Arc*, 6, pp.261-266.

(1998)

- 浅井大輔・今村文彦・首藤伸夫・高橋智幸:伊豆半島入間における安政東海地震津波の波高と土砂移動, *海岸工学論文集*, 第45巻, pp.371-375.
- 石田祐介・今中剛・今村文彦:三陸沖での新しい監視方法による津波情報提供の可能性, *海岸工学論文集*, 第45巻, pp.386-390.
- 石橋克彦・佐竹健治:古地震研究によるプレート境界巨大地震の長期予測の問題点, *地震* 50 (別冊), pp. 1-21.
- 今村文彦:15年間における津波数値計算の発展と今後, *月刊海洋号外「津波研究の最前線」*, No 15, pp.89-98.
- 今村文彦・李昊俊:津波発生・伝播の数値モデルの現状と課題, *沿岸海洋研究論文*, 第36巻, pp.91-101.
- 今村文彦:「ハード」はもはや限界,人間の行動を視野に「ソフト」重視の対策を,特集「国際語になった日本の言葉 TSUNAMI」-その知られざる素顔-, *サイアス*, 第3巻第7号通巻36号, pp.50-52
- 岡田正実・谷岡勇市郎, 1998, 地震の規模・深さと津波の発生率, *月刊海洋号外*, 15, pp.18-22.
- 河田恵昭・小池信昭・嘉戸重仁・井上雅夫:わが国沿岸部における遠地津波の伝播特性について, *海岸工学論文集*, 第45巻, pp.336-340.
- 河田恵昭・小池信昭:基底展開による簡易津波数値解析法, *海岸工学論文集*, 第45巻, pp.341-345.
- 越村俊一・今村文彦・首藤伸夫:境界波の挙動特性に関する理論的研究, *月刊海洋号外「津波研究の最前線」*, No.15, pp.105-109.
- 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫:GISを利用した津波遡上計算と被害推定法, *海岸工学論文集*, 第45巻, pp.356-360.
- 佐竹健治:巨大津波の痕跡?高度300メートルのサンゴは何を語る, *SCIAS*, 4月17日号, pp.45-47.
- 首藤伸夫:津波研究の現状と津波対策, *沿岸海洋研究*, 第35巻, 第2号, pp.147-157.
- 高橋智幸・首藤伸夫・浅井大輔・今村文彦:津波による土砂移動の実例とモデル化, *月刊海洋号外*

- 「津波研究の最前線」, No.15, pp.147-152.
- 都司嘉宣, インドネシアに津波警報システムを構築するには, 沿岸海洋研究, 35, 2, pp.159-168
- 都司嘉宣・上田和枝・佐竹健治, 日本で記録された1700年1月(元禄十二年十二月)北米巨大地震による津波, 地震, 56, pp.1-17
- 都司嘉宣, 上田和枝, 佐竹健治: 日本で記録された1700年1月(元禄十二年十二月)北米巨大地震による津波, 地震, 51, pp.1-17.
- 七山 太, 佐竹健治, 下川浩一, 重野聖之, 小板橋重一, 宮坂省吾, 石井正之: 遡上型津波堆積物の堆積相と堆積過程 - 1983年北海道南西沖地震津波の研究例 -, 月刊海洋, 号外15, pp.140-146.
- 藤間功司・Dede Yuliadi・Michael J. Briggs・正村憲史・重村利幸・後藤智明: 過渡的な入射波形をもつ津波の島への遡上, 土木学会論文集, No.586/II-42, pp.105-115.
- 藤間功司・正村憲史・林建二郎・重村利幸・後藤智明: Leap-Frog法を用いた島周辺の津波数値計算における格子間隔選定基準, 土木学会論文集, No.593/II-43, pp.183-188, 1998.
- 松富英夫・飯塚秀則: 津波の陸上流速とその簡易推定法, 海岸工学論文集, 第45巻, 土木学会, pp.361-365.
- 松澤暢・日野亮太・岡田知己・小菅正裕・今村文彦: 三陸沖地震予知総合観測計画, 新地震予知研究, 月刊地球号外, No.20., pp.85-89.
- 松山昌史・池野正明・田中寛好: 津波遡上高の推定に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.351-355.
- 松山昌史: 1998年バブア・ニューギニア地震津波現地調査報告, 電中研報告書, U98017, p.19.
- 松本智裕・橋和正・今村文彦・首藤伸夫: 土石流による津波発生・伝播モデルの開発, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.346-350.
- Arai, K. and Y. Tsuji, : Lack of excitation by tsunamis of normal modes of sea-surface oscillations in bays, PAGEOPH, 151, pp.161-181
- Imamura, F. : The Sissano Tsunami caused by the earthquake in PNG and the riddle of its generation, Newsletter of Natural Hazards Society, Vol.3, issue 4, September